

**Tobias C. Müller**  
**Olaf Krieger**  
**Thomas Form**

**Evaluierung von Offboard-Diagnosesystemen am Beispiel  
eines erfahrungsbasierten Diagnoseverfahrens**

**Braunschweig : Institut für Regelungstechnik**  
**Wolfsburg : Volkswagen AG**

Veröffentlicht: 24.06.2008

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00022731>

Auch erschienen in:

Gühmann, Clemens (Hrsg.): Simulation und Test in der Funktions-  
und Softwareentwicklung für die Automobilelektronik, II. - Expert  
Verlag, 2008, ISBN 978-3-8169-2818-8

# **Evaluierung von Offboard-Diagnosesystemen am Beispiel eines erfahrungsbasierten Diagnoseverfahrens**

---

Tobias Müller, Olaf Krieger, Thomas Form

## **Abstract**

The complexity and diversity of systems in vehicles increases continuously. This results in the fact, that nowadays offboard diagnostic systems will face their limits soon. That's why new innovative diagnostic methods and systems are necessary. Condition for the successful introduction of new diagnostic systems is a suitable evaluation method. This paper introduces a three stage evaluation method which was applied to two new diagnostic methods.

## **Kurzfassung**

Die Komplexität und die Vielzahl von Systemen im Fahrzeug steigt kontinuierlich. Dies sorgt dafür, dass die heute eingesetzten Offboard-Diagnosesysteme in absehbarer Zeit an ihre Grenzen stoßen. Aus diesem Grund sind neue innovative Diagnoseverfahren und Systeme notwendig. Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung neuer Diagnosesysteme ist ein geeignetes Evaluationsverfahren. Der Beitrag stellt ein erweitertes dreistufiges Evaluationsverfahren vor, das beispielhaft an zwei neuartigen Diagnoseverfahren angewendet wurde.

## **1. Einleitung**

Die Herausforderung bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge besteht darin, auch bei immer komplexer werdenden Fahrzeugen die Zuverlässigkeit und Wartbarkeit weiter zu verbessern. Leistungsfähige Diagnosesysteme, die Störungen frühzeitig und sicher erkennen und Mechaniker in der Kfz-Werkstatt optimal unterstützen, können dazu einen wichtigen Beitrag leisten.

In hoch vernetzten und verteilten Systemen wie der Kraftfahrzeugelektronik können die Ursachen für viele Fehler nur mit Hilfe durchgängiger und systemübergreifender Diagnosekonzepte zuverlässig erkannt werden. Die unterschiedlichen im Fahrzeug verbauten Systeme besitzen viele Berührungspunkte untereinander. Dazu gehören vor allem die funktionalen Abhängigkeiten der einzelnen Systeme untereinander und die damit notwendige Vernetzung der Steuergeräte. Die Auswirkungen von Störungen in solchen verteilten Systemen sind nur schwer zu überschauen.

Die Folge ist, dass eine in der Werkstatt durchgeführte Fehlerdiagnose in über 60 Prozent der Fälle den Fehler nicht findet (vgl. [1]). Hierdurch steigen die Fehlersuchzeiten und die Fehltauschkosten. Während bei Steuergeräten der ersten Generation jede Funktion genau einem Steuergerät zugeordnet war, sind Funktionen heute auf

mehrere Steuergeräte verteilt. Zusätzlich wird die Diagnose durch die Tatsache erschwert, dass ein Symptom nicht selten mehrere Ursachen hat, und eine Ursache oft zu mehreren Symptomen führt (vgl. [2], [3]).

Um von Fehlersymptomen aus verschiedenen Fahrzeugsystemen auf die Fehlerursache schließen zu können, muss Diagnosewissen angewendet werden. Auf Grund der begrenzten Speicher- und Rechenkapazität ist es nicht sinnvoll, das gesamte Diagnosekonzept im Fahrzeug (Onboard) umzusetzen. Bestimmte Informationen, müssen sofort nach Auftreten des Fehlers im Fahrzeug zur Verfügung stehen. Dagegen werden Informationen zur Beseitigung der Fehlerursache erst in der Werkstatt benötigt. Dort können aufwendigere Offboard-Diagnosesysteme zum Einsatz kommen.

Eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Fahrzeugdiagnose sind die Eigen Diagnosefunktionen moderner Fahrzeuge. Diese auch als Onboard-Diagnose bezeichneten Funktionen überwachen das Fahrzeug während des Betriebs und können auf eventuelle Fehler reagieren sowie Informationen über den erkannten Fehler und die Umstände des Auftretens abspeichern. Diagnosesysteme können die im Fahrzeug gespeicherten Diagnoseinformationen auslesen und in verständlicher Form anzeigen. Heutige Diagnosesysteme sollen darüber hinaus den Mechaniker bei der Suche nach der Fehlerursache und bei der Instandsetzung aktiv unterstützen. Dafür kommen wissensbasierte Systeme zum Einsatz. Abhängig davon welche Verfahren verwendet werden, lassen sich drei Prinzipien unterscheiden.

### **1. Expertensysteme**

Mit Hilfe von Diagnosesystemen, die auf Expertenwissen basieren, können Mechaniker bei beliebigen Fehlersituationen unterstützt werden. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass das notwendige Expertenwissen vorher von einem entsprechenden Experten eingegeben werden muss. Da jedoch allein die Variantenvielfalt moderner Fahrzeuge fast beliebig groß ist, ist es für eine endliche Menge von Experten kaum möglich, für alle erdenkbaren Fehlersituationen, die in den Fahrzeugen auftreten könnten, im Voraus ausführliche Prüfabläufe zu erstellen.

### **2. Modellbasierte Diagnose**

Diagnosesysteme, deren Wissensbasis vollständig oder zum größten Teil automatisch aus Konstruktionsdaten ermittelt wird, können weitestgehend auf Expertenwissen verzichten. Beim Einsatz dieser Verfahren müssen die Konstruktionsdaten in einer Form vorliegen, aus der sich automatisch Modelle generieren lassen, die eine ausreichende Detailtiefe aufweisen. Die Datenaufbereitung dafür ist mit zusätzlichem und teilweise hohem Aufwand verbunden. Es lassen sich mit solchen modellbasierten Verfahren jedoch nur bestimmte Klassen von Fehlern erkennen, die sich aus dem Modell heraus erklären lassen.

### **3. Erfahrungsbasierte Diagnose**

Erfahrungsbasierte Diagnosesysteme sind in der Lage, aus bekannten Fehler-Situationen zu lernen und so eine Hilfestellung für zukünftige Fehlersituationen zu geben. Dies ist vor allem dann interessant, wenn viele Werkstätten eine gemeinsame

Wissensbasis verwenden, da dann die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass der gleiche Fehler bereits in einer anderen Werksatt erfolgreich behoben wurde.

Vor diesem Hintergrund wird intensiv an neuen innovativen Diagnoseverfahren gearbeitet. Die Einführung solcher Verfahren kann jedoch, bedingt durch große Investitionen und aufwendige innere Umstrukturierungen sowie ein weltweit verzweigtes umfangreiches Werkstattnetz, erhebliche Kosten nach sich ziehen. Solche Entscheidungen können folglich nur durch vorhergehende ausführliche Untersuchungen und Evaluationsverfahren getroffen werden.

## 2. Evaluationsverfahren

Evaluation kann allgemein als Prozess der Untersuchung und der Bewertung verstanden werden [4]. Die Evaluation grenzt sich von der Validierung ab, indem sie nicht funktionale sondern Qualitätskriterien betrachtet. Die reine Funktion des zu evaluierenden Systems gemäß den Anforderungen wird als gegeben vorausgesetzt. Das Ergebnis einer Evaluation ist demnach ein Qualitätsmaß.

Eine Evaluation ist oftmals nicht ein einmal durchgeführter Vorgang sondern wird vielmehr in verschiedenen Phasen eines Produktprozesses angewendet (siehe Bild 1).

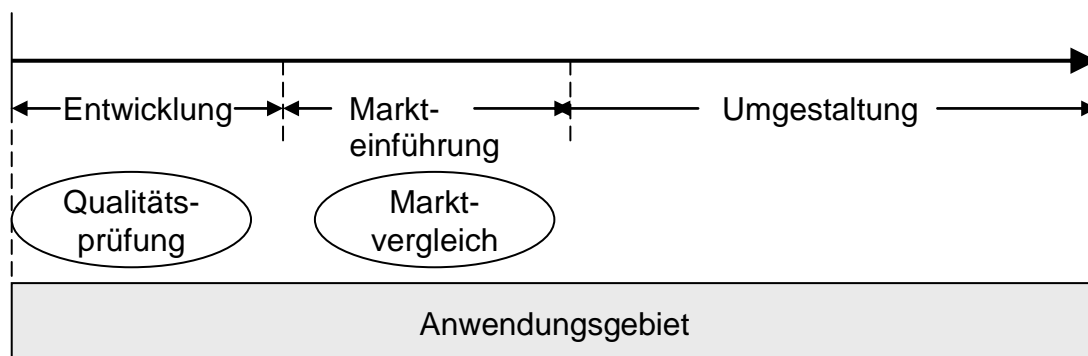


Bild 1: Verschiedene Anlässe für Evaluation (angelehnt an [4]).

Das bedeutet, eine Evaluation kann nie kontextfrei erfolgen. Vielmehr folgt sie den einzelnen Zielen der Phasen. Somit ist eine Evaluation nicht Selbstzweck, sondern macht das Erreichen eines (übergeordneten) Zieles messbar.

Die Methoden der Evaluation lassen sich unabhängig von der Anwendungsdomäne beschreiben und klassifizieren. Eine Evaluation besteht im Allgemeinen aus mehreren (Qualitäts-)Kriterien, die zusammengekommen die Gesamtqualität des Systems spezifizieren. In der Regel werden die Kriterien bestimmten Kategorien wie zum Beispiel Performance, Kosten und Modifizierbarkeit zugeordnet. Jeder Bereich kann sich dabei aus mehreren weiteren Unterkriterien zusammensetzen (vgl. Bild 2). Die hierarchische Anordnung erlaubt dabei eine Verfeinerung bzw. Zusammenfassung der Kriterien. So setzt sich z.B. nach Bild 2 das Kriterium Kosten aus den beiden Unterkriterien Software- und Hardwarekosten zusammen. Die Kriterien der ersten Ebene werden auch häufig als Qualitätskriterien bezeichnet.

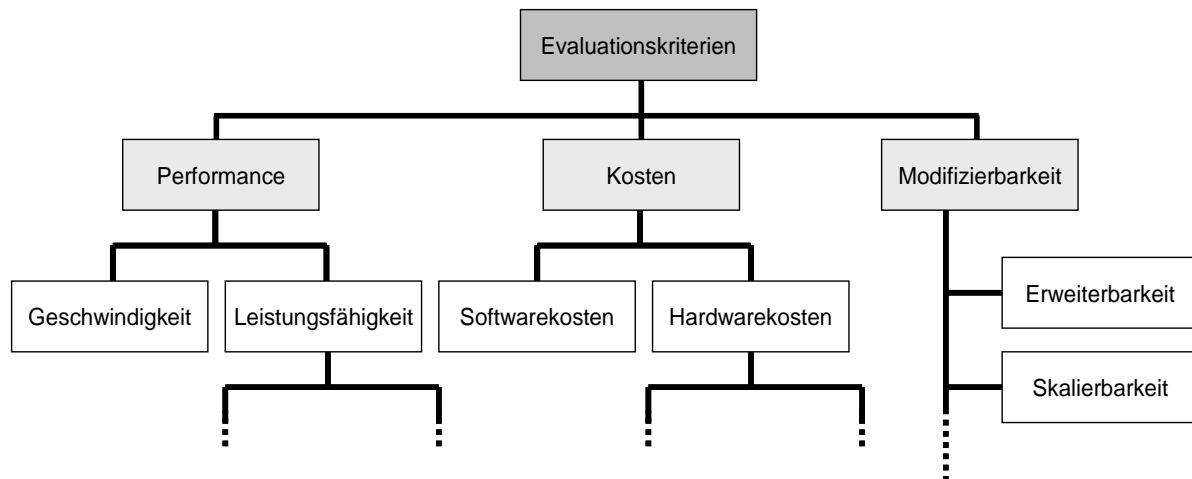


Bild 2: Anordnung von Evaluationskriterien.

Es gibt verschiedene Evaluationsmethoden, nach denen die vorhergehend beschriebenen Kriterien ermittelt werden können. Wie in Bild 3 dargestellt, lassen sie sich in Befragungen, experimentelle und leitfadenorientierte Methoden gliedern [10]. Diese lassen sich hierarchisch nochmals unterteilen. Welche Methoden letztlich zum Einsatz kommen, hängt stark vom Anwendungsfall und der Entwicklungsphase ab.

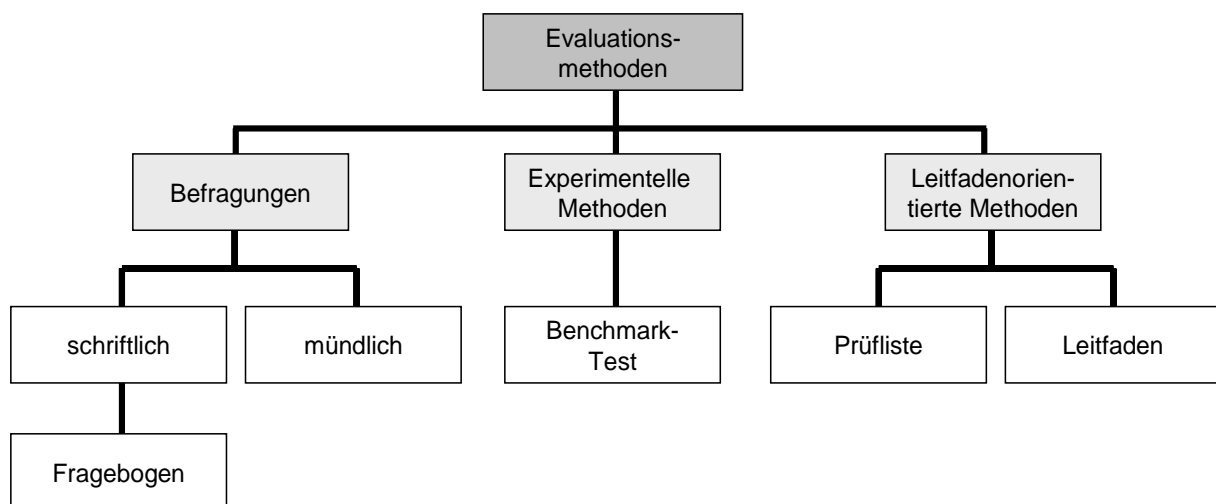


Bild 3: Überblick über Evaluationsmethoden Evaluation (angelehnt an [4]).

Um Kriterien messbar zu machen müssen ihnen Attribute zugeordnet werden. Für das Kriterium Kosten ist das Beispielweise das Attribut Preis. Der Attributwert selbst bzw. die Quantifizierung des Attributs kann durch verschiedene Evaluationstechniken bestimmt werden.

Evaluationstechniken können als Beschreibungen, wie verschiedene Bereiche eines Systems auf welche Weise zu bewerten sind, aufgefasst werden. Die Bewertung selbst kann sowohl qualitativ als auch quantitativ ausfallen. Es wird daher auch zwischen qualitativen und quantitativen Bewertungsansätzen unterschieden [5]. Bewertungstechniken sind, wie bereits erwähnt, Teile einer Bewertungsmethodik, wobei die Techniken aus beiden Bereichen (qualitativ und quantitativ) durchaus gemeinsam in Bewertungsmethoden auftreten können. Quantitative Bewertungs-

techniken sind z.B. Metriken, Simulation sowie Mess- und Schätzverfahren [6]. Qualitative Bewertungstechniken sind z.B. Befragungstechniken, szenarienbasierte Methoden, Fragebögen und Checklisten [7], [8]. Diese basieren in der Regel auf Fachwissen und Erfahrungswerte der befragten Experten. Es sind auch sogenannte hybride Techniken möglich, die sowohl qualitativen als auch quantitativen Charakter haben.

Neben den Techniken selbst ist die Integration der Kriterien ein wesentlicher Bestandteil einer Evaluation. Dazu gehört sowohl die Gliederung der Kriterien in einer Struktur oder Hierarchie (vgl. Bild 2) als auch die Zusammenführung der Bewertungsergebnisse zu einem Zwischen- oder Gesamtergebnis. Für die Zusammenführung können neben einem einheitlichen Wert, der Qualitätsrate, auch abhängig vom Bewertungsergebnis konkreter Kriterien beliebige Techniken zum Integrieren der Teilergebnisse eingesetzt werden.

Sollen Kriterien mit Ergebnissen unterschiedlichen Typs zusammengeführt werden, empfiehlt sich die Verwendung einer Qualitätsrate. Sie ermöglicht neben einer Interpretation auch eine einfache Zusammenführung zu einem Gesamtergebnis. Dies geschieht mit Hilfe einer Gewichtung der Unterkriterien. Das Gewicht beschreibt dabei die Relevanz eines Unterkriteriums für das übergeordnete Kriterium. Die Integration erfolgt letztlich als gewichtete Summe der Qualitätsraten<sup>1</sup>.

Wird eine Evaluation noch im frühen Stadium einer Entwicklung durchgeführt, ist das zugrundeliegende System meist noch sehr abstrakt. Die meisten Techniken basieren dann auf groben Annahmen und geschätzten Werten, die erst in fortgeschrittenen Entwicklungsphasen genauer festgelegt werden. Generell gilt: Je weiter die Entwicklung fortgeschritten ist, desto genauer sind die zur Verfügung stehenden Werte und desto genauer sind die Evaluationsergebnisse umso teurer sind jedoch auch Änderungen um ein besseres Evaluationsergebnis zu erzielen [9].

### 3. Evaluation von Offboard-Diagnoseverfahren

Bei der Evaluation von Offboard-Diagnoseverfahren ist eine mehrstufige entwicklungsbegleitende Strategie sinnvoll. Dies hat drei Gründe:

- Diagnosesysteme werden speziell für einen bestimmten Anwendungsfall entwickelt,
- der Vergleich verschiedenartiger Diagnosesysteme ist nicht trivial und
- die Erprobung von Diagnosesystemen ist mit hohem Aufwand verbunden.

Bereits während der Entwicklung eines Fahrzeugs wird der Grundstein für die spätere Diagnostizierbarkeit gelegt. Die gesamte Diagnosestrategie muss in hohem Maße auf das zu diagnostizierende System und die zur Verfügung stehenden Daten abgestimmt sein. Das Offboard-Diagnosesystem ist nur ein Baustein davon. Mindestens genau so wichtig ist die Onboard-Diagnose, die bei Fahrzeugen in Form von Software in den Steuergeräten umgesetzt ist. Die Onboard- und die Offboard-Diagnose müssen sehr eng aufeinander abgestimmt sein, damit das Gesamtsystem

---

<sup>1</sup> Für eine Ausführliche Beschreibung verschiedener Methoden und Techniken zur Evaluation wird auf [13] verwiesen.

den maximal möglichen Nutzen erzielt. Aus den genannten Gründen müssen Diagnosesysteme für einen bestimmten Anwendungsfall speziell entwickelt werden. So unterscheiden sich Fahrzeugdiagnosesysteme für Kundendienstwerkstätten stark von Diagnosesystemen für die Fahrzeugproduktion.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben wurde, existieren verschiedene Verfahren mit deren Hilfe technische Systeme, wie ein Fahrzeug, diagnostiziert werden können. Moderne Diagnosesysteme setzen meist eine Kombination aus mehreren Diagnoseverfahren ein. Dies liegt darin begründet, dass jedes Verfahren spezifische Vor- und Nachteile aufweist, die es auszugleichen gilt. In einem Fahrzeug können sehr unterschiedliche Fehler auftreten, angefangen von einfachen elektrischen Fehlern wie Kurzschlüssen über komplexe Fehlersituationen, die Auswirkungen auf verschiedene Fahrzeugsysteme haben, bis hin zu Fehlersituationen, welche selbst Experten nicht ausreichend erklären können. Bei allen Klassen von Fehlern können die bekannten Diagnoseverfahren den Mechaniker mehr oder weniger gut bei der Fehlersuche unterstützen. Die Art der Unterstützung kann jedoch unterschiedlich ausfallen. Diagnosesysteme, die Expertenwissen in Form von Fehlersuchprogrammen enthalten, können den Mechaniker bei der Fehlersuche schrittweise führen, Informationen abfragen und technische Sachverhalte erklären. Da die Fehlersuchprogramme jedoch für möglichst viele Fahrzeugvarianten anwendbar sein sollen, sind sie recht allgemein gehalten. Modellbasierte Verfahren, die fahrzeugindividuelle Modelle verwenden, können variantenspezifische Besonderheiten berücksichtigen und eine Liste mit Fehlerkandidaten berechnen. Je nach dem, wie die Modelle beschaffen sind, können sie jedoch immer nur eine bestimmte Menge an Fehlern erkennen. Auch kann die Rechenzeit, die das Verfahren zum Berechnen des Modells und somit zum Stellen der Diagnose benötigt, von solcher Dauer sein, dass es nicht für den praktischen Einsatz geeignet ist. Auch wenn die Daten, die für eine automatische Erstellung der Modelle benötigt werden, nicht in der erforderlichen Form zur Verfügung stehen, kann dies zur Folge haben, dass ein Verfahren nicht eingesetzt werden kann. Erfahrungsbasierte Diagnosesysteme bieten dem Mechaniker eine Unterstützung, wenn ihm das vorliegende Fehlerbild und die Ursache bereits aus der Vergangenheit in der gleichen oder einer ähnlichen Form bekannt sind. Erfahrungsbasierte Diagnosesysteme können dem Mechaniker jedoch nicht garantieren, dass die vermutete Diagnose auch auf für den vorliegenden Fehlerfall zutrifft, sondern können nur Vermutungen äußern. Die Qualität dieser Vermutungen wird maßgeblich dadurch bestimmt, wie die Erfahrungen gesammelt und verarbeitet werden [11].

Um unterschiedliche Diagnosesysteme vergleichen zu können, müssen allgemeingültige Metriken gefunden werden, um die Einsetzbarkeit und den zu erwartenden Nutzen zu bewerten.

Um eine aussagekräftige Evaluierung durchzuführen, sollte das Diagnosesystem in einem ausgereiften Zustand vorliegen. Die Evaluierung sollte mit möglichst realen Daten in einer Umgebung, die dem späteren Einsatzbereich ähnelt, durchgeführt werden. Der spätere Einsatzbereich ist eine Werkstatt, in der Fahrzeuge mit realen Fehlern diagnostiziert und repariert werden. Diese Umgebung lässt sich für eine Evaluation mit einem gewissen Aufwand bereitstellen. Da die Diagnosesysteme speziell für einen Anwendungsfall entwickelt werden, liegen sie im Normalfall zu Beginn der Evaluierung nicht in einer Form vor, die einen realitätsnahen Einsatz ermöglicht. Ein weiteres Problem ist es, die notwendigen Daten zur Verfügung zu

stellen. Bei der Evaluierung von erfahrungsbasierten Diagnoseverfahren besteht eine Art Henne-Ei-Problem, da das zu evaluierende System noch keine ausreichenden Erfahrungen sammeln konnte, um seine Leistungsfähigkeit in einer realitätsnahen Umgebung unter Beweis zu stellen. Wenn bei der Entwicklung und Produktion eines Fahrzeugs nicht die notwendigen Daten für eine automatische Modellgenerierung erstellt und gespeichert wurden, ist es nur mit hohem Zusatzaufwand möglich, modellbasierte Diagnoseverfahren realitätsnah einzusetzen.

### **Entwicklungsbegleitende dreistufige Evaluierung**

Aus den beschriebenen Problemen ist ersichtlich, dass der klassische Evaluierungsansatz (vgl. [4]) für die Einführung neuer Diagnosesysteme nicht sinnvoll ist. Das neu entwickelte Evaluierungsverfahren beginnt bereits während der Entwicklung der betreffenden Diagnosesysteme und nicht erst mit den fertigen Produkten. Dadurch wird die Phase der Validation im oberen rechten Ast des V-Modells (vgl. [4], S. 101) in der Entwicklung der Diagnosesysteme unterstützt. Durch diese entwicklungsbegleitende Evaluierung kann z.B. frühzeitig erkannt werden, dass ein bestimmtes Verfahren nicht zum Einsatz kommen wird. Dadurch können Entwicklungskosten eingespart werden. Auch besteht die Möglichkeit, dass zusätzliche Anforderungen (z.B. zu Schnittstellen zu anderen Systemen) zurück in die Entwicklung fließen und dadurch Einfluss auf das Produkt genommen werden kann.

#### **Phase 1 – Konzeptbewertung**

Die erste Phase der entwicklungsbegleitenden Evaluierung ist die Konzeptbewertung. In dieser Phase werden die Diagnosekonzepte, die eingesetzten Verfahren und das mögliche Vorgehen bei der Einführung des Systems bewertet. Während dieser Phase braucht noch kein funktionierendes System vorzuliegen. Im ersten Schritt wird überprüft, ob die gewählten Diagnoseverfahren für den geplanten Einsatzbereich, wie Werkstätten oder Produktionsanlagen anwendbar sind. Der zweite Schritt ist die Überprüfung der technischen Machbarkeit. Die Konzeptbewertung wird im nächsten Kapitel ausführlich beschrieben. Ergebnis dieser Phase ist, ob ein bestimmtes Konzept weiter verfolgt oder verworfen wird. In dieser Phase werden auch zusätzliche Anforderungen an das fertige Produkt und den Prototypen, der in Phase 2 eingesetzt werden soll, definiert.

#### **Phase 2 – Experimentelle Untersuchung**

In der Phase 2 werden prototypisch umgesetzte Diagnosesysteme untersucht, deren zugrundeliegendes Konzept bereits in der ersten Phase als erfolgversprechend erachtet wurde. Dies erfolgt sowohl als reine Laboruntersuchung, als auch in einer Werkstatt an Fahrzeugen, in die gezielt Fehler eingebaut wurden. Die Prototypen müssen noch nicht den vollen Funktionsumfang des Diagnosesystems enthalten. Es sollten jedoch das grundlegende Konzept sowie Funktionalitäten, die in der ersten Phase als kritisch eingestuft wurden, umgesetzt sein. Mit Hilfe der Prototypen muss es möglich sein, die zu erwartende Leistungsfähigkeit der Systeme zu ermitteln. Im Abschnitt 5 wird eine mögliche Technik dafür vorgestellt, die die Möglichkeit bietet, auch sehr unterschiedliche Verfahren miteinander vergleichen zu können.

Zu den kritischen Funktionalitäten, die mit Hilfe der Prototypen geprüft werden gehören in der Regel auch Schnittstellen zu anderen Systemen sowie der Import und Export von Daten. Dies ist wichtig, um den entstehenden Aufwand beim Rollout der Applikation abschätzen zu können. Auch eine Bewertung der Benutzerschnittstelle ist



in dieser Phase sinnvoll, um eine entsprechende Benutzerakzeptanz zu erreichen. Dabei ist es nicht nur wichtig, wie der Mechaniker in der Werkstatt mit dem System arbeiten kann, sondern es muss auch untersucht werden, ob die Eingabe und Pflege des Diagnosewissens mit dem erwarteten Aufwand durchführbar ist.

### **Phase 3 – Kleine Felderprobung**

Für die Phase 3 der entwicklungsbegleitenden Evaluierung muss das Diagnosesystem in einer sehr ausgereiften Form vorliegen. Das Ziel dieser Phase ist es, sicherzustellen, dass das Diagnosesystem für die tägliche Arbeit geeignet ist. Zu diesem Zweck wird eine bestimmte Menge ausgewählter Werkstätten mit dem Diagnosesystem ausgestattet. Diese werden beauftragt, das Diagnosesystem im normalen Arbeitsablauf einzusetzen und zu bewerten. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe von Fragebögen für jeden Einsatz und einer Besprechung am Ende der Untersuchung oder in regelmäßigen Abständen vor Ort. Nach Auffassung der Autoren sollten die Untersuchungen in mindestens 5 Werkstätten erfolgen. Mit fortschreitender Reife des Systems können zunehmend mehr Werkstätten in den Evaluierungsprozess mit einbezogen werden. Mehr als 30 Werkstätten sind aus Sicht der Autoren nicht zielführend, da der zusätzliche Aufwand für die Befragung der Werkstattmitarbeiter und der Auswertung der Fragebögen nicht im Verhältnis zu den zusätzlichen Erkenntnissen, die sich daraus ableiten lassen, steht. Wichtig ist, dass die Werkstattmitarbeiter ermutigt werden, qualitativ hochwertiges Feedback zu geben. Dafür ist es notwendig, dass die Werkstätten für den zusätzlichen Aufwand angemessen entschädigt werden. Allein aus diesem Sachverhalt ist ersichtlich, dass die dritte Phase im Vergleich zu den ersten beiden Phasen mit hohem finanziellem und personellem Aufwand verbunden ist. Auch aus diesem Grund ist es unerlässlich, dass die eingesetzte Software eine hohe Reife aufweist. Wenn das zu evaluierende Diagnosesystem bereits bekannte wesentliche Schwachstellen aufweist, werden bei der Evaluation weniger neue Probleme entdeckt. Zusätzlich fällt die Akzeptanz des Systems deutlich schlechter aus.

## **4. Konzeptbewertung**

Systeme zur Diagnose von Fahrzeugen können sehr unterschiedlich umgesetzt werden. Um zu ermitteln, ob ein bestimmtes Offboard-Diagnosesystem eingesetzt werden kann, müssen zunächst die zugrundeliegenden Konzepte bewertet werden. Bild 4 stellt die wichtigsten Kriterien einer Konzeptbewertung dar.

Zu Beginn der Evaluierung sollten die Anwendungsfälle und der zukünftige Einsatzbereich feststehen. Einige Diagnoseverfahren eignen sich hauptsächlich für elektrische Fehler, mit anderen lassen sich auch beliebige mechatronische Systeme diagnostizieren. Einsatzbereiche sind z.B. Kundendienstwerkstätten, Produktionsanlagen oder die Forschung und Entwicklung.

Das zweite Kriterium ist die technische Machbarkeit. Die einzelnen Aspekte hängen vom Einsatzbereich ab. Für den Einsatz im Kundendienst ist es z.B. sehr wichtig, dass sich das System in die bestehende IT integrieren lässt. Systeme, die eine Onlineverbindung für einen Datenaustausch mit einem zentralen System benötigen, sind weltweit nicht in allen Werkstätten ökonomisch sinnvoll einsetzbar. Die Daten, die das Diagnosesystem benötigt, müssen vom Hersteller mit adäquatem Aufwand

bereitgestellt werden. Wenn die benötigten Daten nicht zur Verfügung stehen und nur mit hohem zusätzlichem Aufwand erstellt werden können, ist die Einsetzbarkeit dieses Verfahrens in Frage zu stellen. Auch die Anforderungen an die Onboard-Diagnose des Fahrzeugs sind wichtige Kriterien für den Einsatz des Systems. Oft besteht die Anforderung, dass das Diagnosesystem mit bestehenden Fahrzeugen eingesetzt werden soll. In diesem Fall muss es mit den vorhandenen Daten und Diagnosediensten auskommen. Soll es ausschließlich für zukünftige Fahrzeuggenerationen eingesetzt werden, muss geprüft werden, welche zusätzlichen Anforderungen das System an die Onboard-Diagnose stellt und ob diese wirtschaftlich umsetzbar sind. Die bisher genannten Kriterien gehen in die Bewertung als K.o.-Kriterien ein. Wenn die technische Machbarkeit nicht gegeben ist oder der Einsatzbereich nicht dem Geforderten entspricht, brauchen die weiteren Evaluierungsschritte nicht durchgeführt werden.

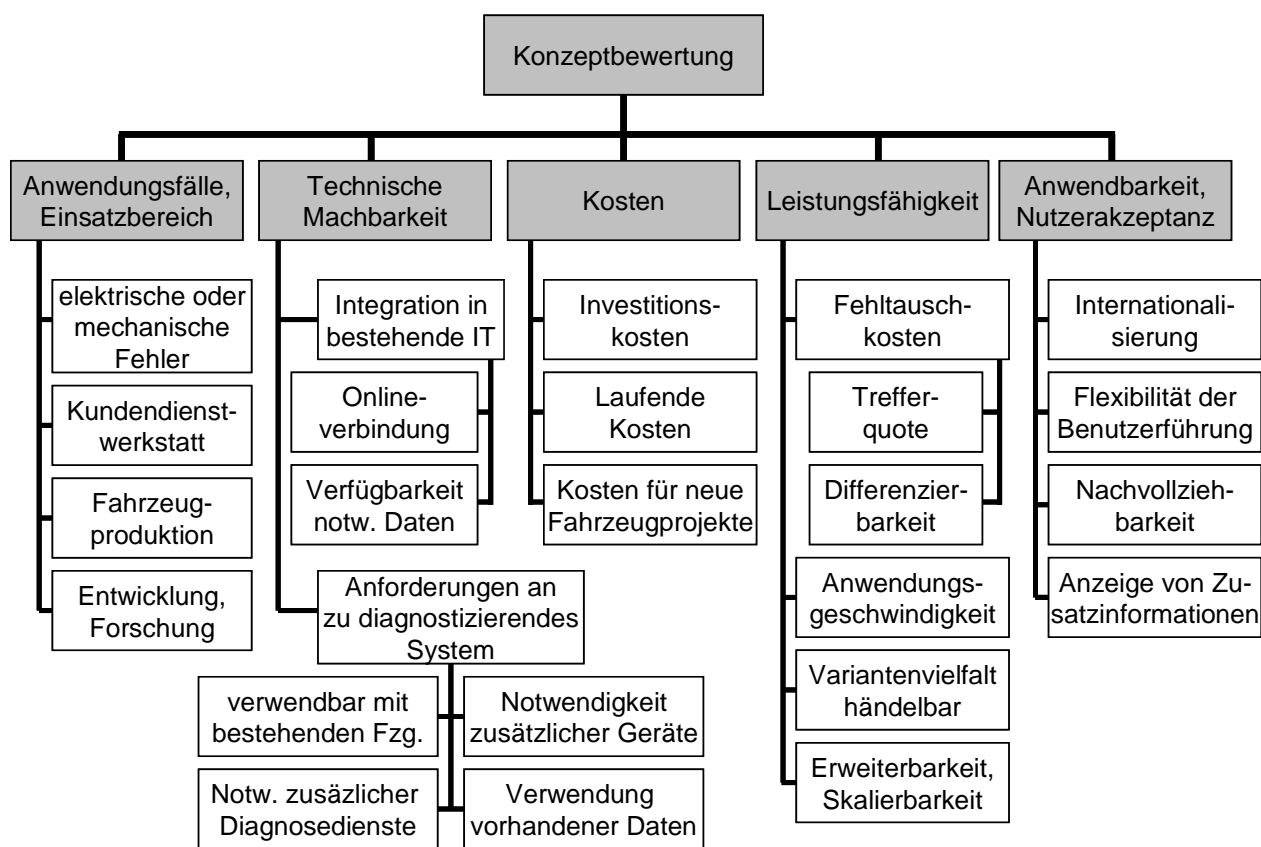


Bild 4: Kriterien der Konzeptbewertung

Im dritten Schritt werden die zu erwarteten Kosten sowohl für die Einführung des Systems als auch für die Aufrechterhaltung des Betriebs abgeschätzt. Dabei muss jeweils zwischen den Kosten, die in jeder einzelnen Werkstatt entstehen und den Kosten die beim Hersteller, der i.d.R. auch Daten und Infrastruktur bereitstellen muss, entstehen, unterschieden werden. Ein wichtiges Element bei der Abschätzung der Kosten ist der zu erwartende Aufwand für die Erstellung und Bereitstellung von Daten für ein neues Fahrzeugprojekt.

Eines der wichtigsten Kriterien bei der Konzeptbewertung ist die qualitative Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Diagnosesystems. Dies umfasst vor allem die zu erwartende Fehltauschkosten, die sich aus der Trefferquote und der Differenzierbarkeit möglicher Ursachen ergibt. Dies lässt sich anhand der eingesetzten Diagnoseverfahren genauso wie die zu erwartende Anwendungsgeschwindigkeit abschätzen. Auch die Fähigkeit des Diagnosesystems, mit unterschiedlichen Fahrzeugvarianten umgehen zu können, lässt sich anhand der eingesetzten Verfahren bewerten. In diesem Schritt wird auch untersucht, ob das System für zukünftige Anforderungen erweiterbar und skalierbar ist.

Das fünfte Kriterium umfasst die Bewertung der Anwendbarkeit und Nutzerakzeptanz. Dazu gehört neben dem Einsatz verschiedener Sprachen (Internationalisierung) die Flexibilität der Benutzerführung. Auch die Nachvollziehbarkeit der vom Diagnosesystem vorgeschlagenen Handlungen und die Möglichkeit, zusätzliche Informationen auszugeben, werden in diesem Schritt untersucht.

## 5. Experimentelle Untersuchung

Im Folgenden soll näher auf die Phase 2 der entwicklungsbegleitenden Evaluierung eingegangen werden. Die Voraussetzung für diese Phase ist ein prototypisch umgesetztes Diagnosesystem. Damit können viele Kriterien, die zuvor nur qualitativ abgeschätzt werden konnten nun auch quantitativ bestimmt werden. Hierfür sind neue Evaluationstechniken nötig.

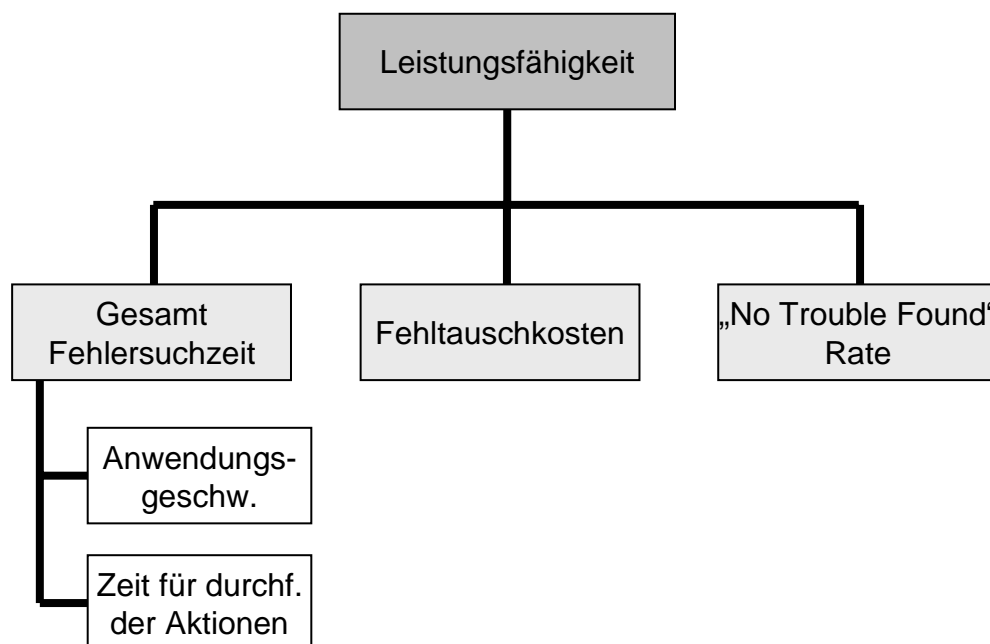


Bild 5: *Kriterienhierarchie des Kriteriums Leistungsfähigkeit.*

Die Existenz einer prototypischen Umsetzung ermöglicht vor allem eine Präzisierung der Leistungskriterien. Die in Phase 1 nur grob bestimmbaren Kriterien müssen für eine genauere Bestimmung zunächst weiter unterteilt werden. In Bild 5 ist eine mögliche Verfeinerung dargestellt.

Die Kriterien sind hierbei wie folgt spezifiziert:

**Fehltauschkosten** Die Fehltauschkosten berechnet sich aus den durchschnittlichen Kosten von getauschten aber nicht defekten Teilen pro Reparaturfall.

**Gesamtfehlersuchzeit** Als gesamte Fehlersuchzeit wird die Zeit vom ersten Verwenden des Systems bis zur Ermittlung der Fehlerursache bezeichnet. Praktisch kann hier die gesamte Reparaturzeit verwendet werden und davon die Reparaturzeit für den eigentlichen Defekt abgezogen werden. Letztlich setzt sie sich aus der Anwendungsgeschwindigkeit und der Zeit, die für die Handlungsanweisungen benötigt wird, zusammen. Zur Anwendungsgeschwindigkeit zählt auch die Zeit, die für das Auslesen der Fehlerspeicher benötigt wird.

**„No Trouble Found“-Rate** Die NTF-Rate berechnet sich aus dem Anteil an Reparaturfällen, in denen das Diagnosesystem keinen direkten oder indirekten Hinweis auf die Fehlerursache geben konnte. Sie ist im Gegensatz zu den beiden vorhergehenden Kriterien keine absolute sondern eine relative Größe.

Die Aufgabe einer Evaluierung für das Kriterium Leistungsfähigkeit ist es nun die verschiedenen Kriterien Fehlersuchzeit, Fehltauschkosten und NTF-Rate in einem quantitativen, vergleichbaren Wert zu erfassen. Die aufgezählten Kriterien sind Anwendungskriterien. Das heißt sie erfassen ausschließlich die Anwendung des Diagnosesystems. Doch gerade dies ist bei der Vielzahl von weltweit verteilten Kundendienstmitarbeitern bzw. der großen Anzahl an zu diagnostizierenden und instand zusetzenden Fahrzeugen von großem Interesse.

Die Anforderung an die Evaluierungstechnik und -methode ist folglich eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die auch die Aspekte der Anwendung mit einbezieht.

Hierfür muss zunächst der Diagnose- und Reparaturprozess näher betrachtet werden. Dieser ist in Bild 6 in stark vereinfachter Form als iterativer Prozess dargestellt.

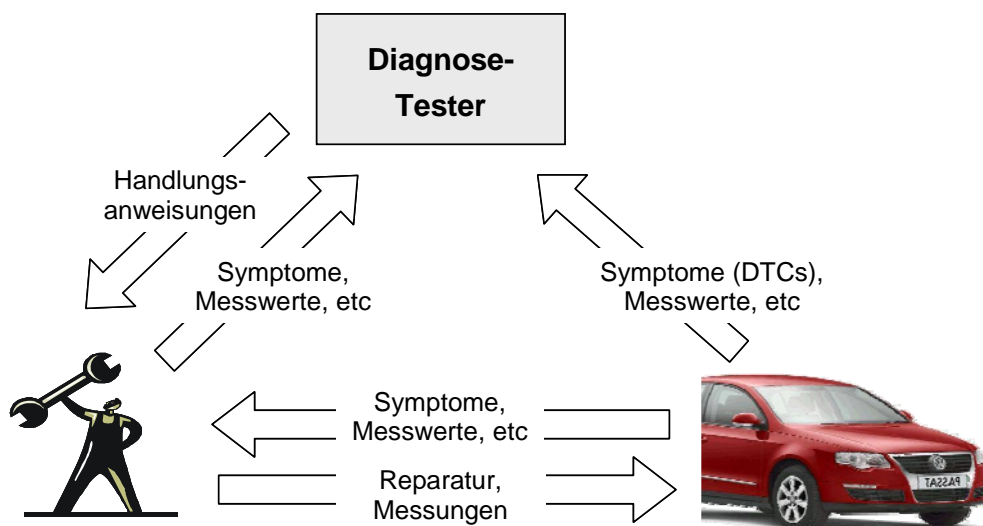


Bild 6: Vereinfachter Reparaturprozess nach [11].

Im ersten Schritt erfasst das Diagnosesystem Symptome, die entweder aus dem Fahrzeug selbst ausgelesen oder vom Anwender manuell eingegeben werden.

Wie im Bild 7 dargestellt, können Symptome u.a. Geräusche, Vibrationen, Messwerte, gestörte Funktionen oder Fehlerspeichereinträge sein. Nach diesem ersten Schritt wird das System im nächsten Schritt Handlungsanweisungen an den Anwender ausgeben. Dies können entweder Reparaturmaßnahmen oder mögliche Fehlerursachen sein, deren Überprüfung vom System vorgeschlagen wird.

Führte die vorgeschlagene Handlungsanweisung nicht zur Identifikation der Fehlerursache oder zur Behebung des Defektes, wird der Anwender im nächsten Schritt eine Rückmeldung an das System geben, das daraufhin erneut analog zu Schritt 2 Handlungsanweisungen ausgibt. Diese Rückmeldung kann dabei in Form von (vom System als Handlungsanweisung verlangten) Messwerten, Beobachtungen oder zusätzlichen Symptomen gestaltet sein. Dieser Prozess endet mit einer vom Anwender als erfolgreich vermuteten Reparatur oder mit einem im ungünstigsten Fall nicht lokalisierbaren Defekt. Wurde die Fehlerursache dabei nicht durch einen direkten oder indirekten Hinweis des Diagnosesystems ermittelt, wird dies als „No Trouble Found“ (NTF) bezeichnet. Das Diagnosesystem war in diesem Fall nicht hilfreich.

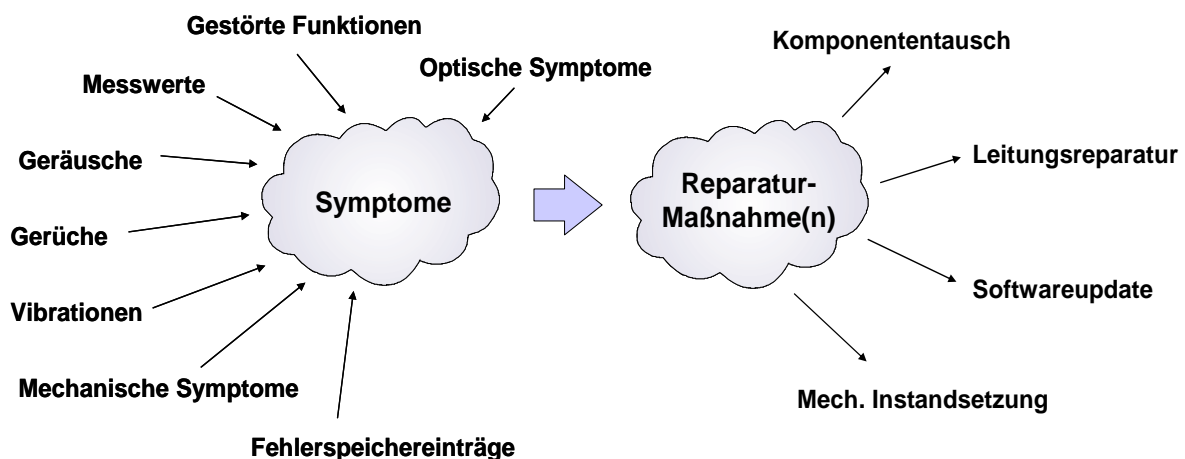


Bild 7: Symptome und Reparaturmaßnahmen nach [11].

Diesem Prozess ist ein zeitlich ausgedehnter Prozess überlagert. Wurde der Defekt nur vermeintlich gelöst, wird davon ausgegangen, dass der Kunde, zumindest im Gewährleistungsfall erneut in die Werkstatt kommen wird und eine Reparatur verlangt.

### Evaluierung mit konkreten Reparaturfällen

Wie aus den Beschreibungen der Kriterien ersichtlich ist, beziehen sich diese immer auf konkrete Reparaturfälle. Das heißt, um z.B. die Fehltauschkosten zu quantifizieren, ist es zunächst nötig, eine möglichst große Zahl an repräsentativen Reparaturfällen zu betrachten. Es ist naheliegend, dass die Qualität der Quantifizierung mit der Zahl an Referenzfällen korreliert. In Anbetracht der Tatsache, dass allein pro Fahrzeugklasse zwischen 2000 und 3000 verschiedene DTCs<sup>2</sup> als Symptome existieren kann abgeleitet werden, dass die für eine Evaluierung zu betrachtende Fallzahl mindestens in diesem Bereich liegen sollte. Die Evaluierung

<sup>2</sup> DTC = Diagnostic Trouble Code

sollte daher automatisiert erfolgen. Dies hat weiterhin im Kontext einer entwicklungs-  
begleitenden Evaluierung den Vorteil, dass beispielsweise die Auswirkung von  
Parameteränderungen schnell und effizient getestet werden kann. Die Ent-  
wicklungszeit kann somit gerade in der Prototypenphase deutlich beschleunigt  
werden.

### **Quantifizierung der Fehlersuchzeit**

Eine besondere Herausforderung ist die Quantifizierung der Gesamtfehlersuchzeit.  
Dies liegt insbesondere an der Diversität der möglichen Diagnosesysteme. Das Ziel  
eines Diagnosesystems sollte sein, den Anwender bei der Identifizierung der Fehler-  
ursache bzw. der Fehlersuche also bei der Diagnose des Defektes des Fehlers zu  
unterstützen. Dies kann auf unterschiedlichste Weise geschehen. Für die  
Quantifizierung der Gesamtfehlersuchzeit ist speziell auch die Benutzerführung von  
Bedeutung. Hier kann generell in zwei Kategorien unterschieden werden:

- Streng sequenziell orientierte Benutzerführung
- Hinweisorientierte Benutzerführung

Als streng sequenziell orientierte Benutzerführung werden Verfahren definiert, die  
genau eine Handlungsanweisung ausgeben und erst nach der Ausführung dieser die  
nächste Handlungsanweisung generieren. Als hinweisorientierte Benutzerführung  
werden Verfahren bezeichnet, die nicht nur eine, sondern mehrere Handlungs-  
anweisungen zur Verfügung stellen. Es wird dem Anwender überlassen, welche  
Handlungsanweisung er in welcher Reihenfolge ausführt. Eine Handlungsanweisung  
kann dabei implizit in Form eines Hinweises auf eine mögliche defekte Komponente  
erfolgen. Die Handlungsanweisung wäre hier die Überprüfung dieser Komponente.  
Daneben sind auch Mischverfahren in jeder Variation möglich.

Es wird folglich ein Quantifizierungsverfahren benötigt, das es erlaubt, Diagnose-  
systeme beider Arten der Benutzerführung hinsichtlich Fehlersuchzeit, Fehl-  
tauschkosten und NTF-Rate zu quantifizieren und zu vergleichen. Hierfür ist es  
notwendig, beide Arten in eine vergleichbare Form zu überführen. Dies wird jedoch  
dadurch erleichtert, dass es in dieser Phase der Evaluierung nicht notwendig ist die  
exakte Fehlersuchzeit zu ermitteln. Vielmehr ist es sinnvoll, qualitativ vergleichbare  
Werte zu bestimmen.

Als gemeinsame Form kann die Ermittlung von defekten Komponenten angesehen  
werden. Dabei wird auch ein Stecker oder ein Kabelbaum als Komponente an-  
gesehen. Es wird davon ausgegangen, dass jede Handlungsanweisung auf die  
Überprüfung einer defekten Komponente abzielt. Dadurch ist es nicht notwendig, die  
einzelnen Handlungsanweisungen zur Ermittlung der Fehlersuchzeit heranzuziehen.  
Vielmehr kann die Zeit zur Überprüfung einer Komponente als angenäherte Fehler-  
suchzeit verwendet werden. Diese kann näherungsweise aus der Ein- und Aus-  
bauzeit der Komponente ermittelt werden. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass  
für die Überprüfung einer Komponente die Ein- und Ausbauzeit den größten Teil der  
Zeit in Anspruch nimmt. Damit ist die Näherung hinsichtlich Vergleichbarkeit zulässig.  
Für die Quantifizierung selbst ist eine repräsentative Menge an Reparaturfällen bzw.  
Reparaturfalldatensätzen nötig. In jedem Reparaturfall muss enthalten sein, welche  
Symptome und Messwerte im Laufe der Reparatur ermittelt und welche Reparatur-  
maßnahmen durchgeführt wurden. Anschließend werden im ersten Schritt mit jedem  
Reparaturfall die im Reparaturfalldatensatz gespeicherten Symptome (DTCs, Wahr-

nehmungen, etc.) in das Diagnosesystem eingegeben. Anschließend wird das Diagnosesystem eine Komponente verdächtigen. Welche Handlungsanweisungen letztlich generiert werden, um diesen Verdacht zu überprüfen, wird nicht betrachtet. Anschließend wird verglichen, ob die vom System verdächtigte Komponente der tatsächlich defekten Komponente entspricht. Ist dies der Fall, wird die Fehlersuche abgebrochen. Als Fehlersuchzeit wird dann lediglich die Anwendungsgeschwindigkeit für das Auslesen der Fehlerspeicher vom Fahrzeug und das Bedienen der Anwendung berechnet. War die Annahme falsch, wird bei einem hinweisorientierten System die nächste Komponente verglichen usw. Im Fall eines sequenziellen Systems werden die Handlungsanweisungen virtuell durchgeführt und evtl. Messwerte aus dem Reparaturfalldatensatz, sofern verfügbar, eingetragen oder aber abgeschätzt. Anschließend wird das System ebenfalls eine neue Handlungsanweisung generieren, die auf die Überprüfung der nächsten Komponente abzielt. Nach diesem Vorgehen wird letztlich eine Tabelle nach dem Muster von Tabelle 1 erzeugt.

Die näherungsweise Ermittlung der gesamten Fehlersuchzeit erfolgt nun durch die Aufsummierung der einzelnen Ein- und Ausbauzeiten der Komponenten sowie der Anwendungszeit. Die Ein- und Ausbauzeiten der tatsächlich defekten Komponente, also der eigentlichen Reparatur, werden nicht eingerechnet.

Verdächtige Komponente	Ein-/ Ausbauzeit	Kosten für Reparatur
<i>Anwendungszeit</i>	<i>Zeitwert 0</i>	–
Komponente 1	Zeitwert 1	Kosten 1
Komponente 2	Zeitwert 2	Kosten 2
...	...	...
Komponente n (tatsächlich defekt)	–	–
Summe	Ges. Zeitwert <sup>3</sup>	Ges. Kosten <sup>4</sup>

Tabelle 1: *Berechnung der Fehlersuchzeit und Fehltauschkosten.*

### Quantifizierung der Fehltauschkosten

Die Fehltauschkosten werden ähnlich wie die Fehlersuchzeiten quantifiziert. Auch hier ist für die Phase 2 der Evaluierung nicht der exakte Wert, sondern die Vergleichbarkeit von Interesse. Ob eine verdächtige, aber nicht defekte Komponente nun tatsächlich getauscht wird, kann nicht eindeutig bestimmt werden, da dies stark vom entsprechenden Kundendienstmitarbeiter und von der Überprüfbarkeit der Komponente abhängt. Beide Aspekte können in dieser Phase nicht betrachtet werden. Rein statistisch, d.h. im Mittel über alle Reparaturfälle, korrelieren die tatsächlichen Fehltauschkosten mit den aufaddierten Reparaturkosten für intakte Komponenten mit einem gewissen Proportionalitätsfaktor  $k$ .

<sup>3</sup> Der gesamt Zeitwert entspricht wie im Text beschrieben näherungsweise der Fehlersuchzeit.

<sup>4</sup> Die gesamt Kosten korrelieren mit einem geeigneten Skalierungsfaktor den tatsächlichen Fehltauschkosten.

## Berechnung der Qualitätsrate

Nach der Quantifizierung der einzelnen Kriterien muss eine Integration stattfinden. Hierfür wurde bereits die Qualitätsrate als geeignet festgestellt. Die Qualitätsrate ist eine Abbildung der einzelnen Attributswerte der Unterkriterien auf eine Skala zwischen 0% und 100%. Dies geschieht mit Hilfe einer individuell definierten Abbildungsfunktion. Für die Kriterien Fehlersuchzeit und Fehltauschrate erachten die Autoren eine negativ exponentielle Funktion nach (1) für geeignet. Die maximale Qualitätsrate wird für eine Fehlersuchzeit von null Minuten erreicht und nimmt mit steigender Suchzeit stetig ab. Dies gilt für die Fehltauschrate analog. Der Proportionalitätsfaktor  $k$  muss allerdings gemäß den Unternehmenszielen festgelegt werden. In Bild 8 sind beispielhaft zwei Abbildungsfunktionen mit einem Proportionalitätsfaktor von jeweils 0,1 dargestellt.

$$Q(x) = \frac{1}{k \cdot x + 1} \quad (1)$$

$$Q(\text{NTF}) = 1 - \text{NTF} \quad (2)$$

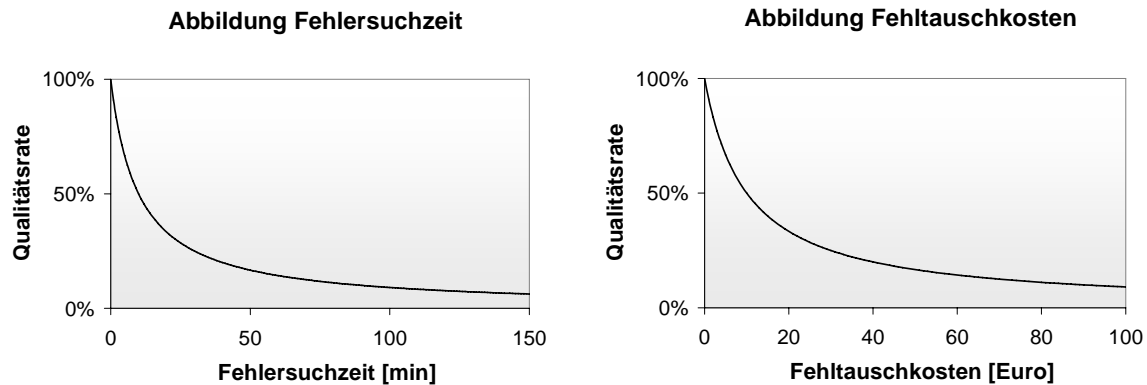


Bild 8: Abbildungsfunktionen für Fehlersuchzeit und Fehltauschrate.

Das Kriterium NTF-Rate<sup>5</sup> kann linear mit Hilfe von (2) in eine Qualitätsrate umgerechnet werden. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die NTF-Rate auch auf das Kriterium Akzeptanz einen Einfluss hat, der dort nicht mehr als linear angenommen werden kann. Für die Leistungsfähigkeit ist dies jedoch gültig.

Die Leistungsfähigkeit setzt sich letztlich nach (3) aus den einzelnen Qualitätsraten der Unterkriterien multipliziert mit der jeweiligen Gewichtung zusammen. Die Gewichtungen sind bewusst gleichverteilt gewählt. Diese müssen den jeweiligen Unternehmenszielen entsprechend angepasst werden<sup>6</sup>.

$$\text{Leistungsfähigkeit} = 33,3\% \cdot Q_{\text{Fehlersuchzeit}} + 33,3\% \cdot Q_{\text{Fehltauschkosten}} + 33,3\% \cdot Q_{\text{NTF}} \quad (3)$$

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass mit den vorgestellten Methoden auch eine Evaluierung rein hinsichtlich der Kosten möglich ist. Hierfür können direkt die quantisierten Werte der Fehlersuchzeit und Fehltauschkosten verwendet werden. Für

<sup>5</sup> NTF-Rate = „No Trouble Found“-Rate

<sup>6</sup> Ein Verfahren wie diese Gewichtungen gemäß den Unternehmenszielen gefunden werden können ist in [13] zu finden.



die NTF-Rate muss dann allerdings noch eine geeignete Abbildungsfunktion auf Kosten gefunden werden.

## 6. Beispielhaft durchgeführten Evaluation

Die vorhergehend beschriebenen Verfahren einer Evaluation sollen nun zur Veranschaulichung an einem zur Zeit in der Entwicklung befindlichen neuen erfahrungsbasierten Diagnoseverfahren beispielhaft angewendet werden. Hierfür wird im folgendem das Diagnosesystem kurz vorgestellt und anschließend die Evaluierung beispielhaft durchgeführt.

### Erfahrungsbasiertes Diagnosesystem

Ein neuer Ansatz für ein Diagnosesystem ist das Lernen aus Reparaturfalldaten mittels Neuronaler Netze. Diese Technologie der künstlichen Intelligenz ermöglicht es aus den Reparaturfalldaten Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu lernen und das erlernte Wissen für zukünftige Reparaturfälle zu nutzen. Dieser Ansatz wird dadurch möglich, dass viele der heute in den Werkstätten eingesetzten Diagnosesysteme die Reparaturfalldaten zum Hersteller übermitteln. Dadurch wird es erst realisierbar, automatisch aus den Daten eine neue Wissensbasis zu erzeugen. Diese Wissensbasis kann nun in Form eines Updates wieder in die Werkstätten für künftige Diagnosen verwendet werden. Das prinzipielle Vorgehen ist in Bild 9 dargestellt und wird im Folgenden kurz beschrieben.

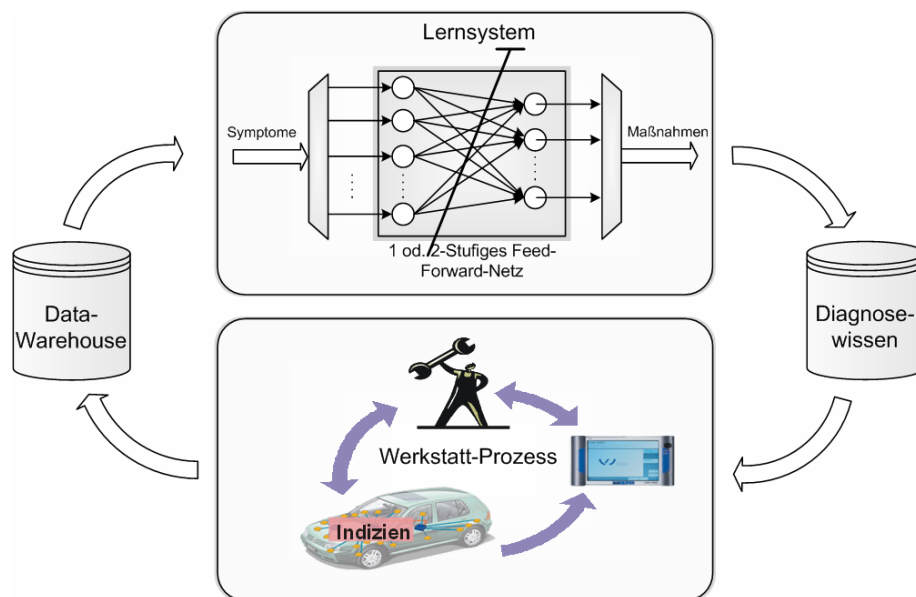


Bild 9: Datenflussdiagramm des Diagnose-Prozesses [11].

Im Werkstatt-Prozess sind alle Prozesse innerhalb einer Werkstatt zusammengefasst. Eine Auswahl der entstehenden Daten, gemeint sind hier vor allem Reparaturfalldaten, werden in eine Datenbank übertragen. Aus dem Datenbestand wird nun das Lernsystem gespeist, welches aus der Vielzahl der Daten Modelle erzeugt. Diese Modelle werden anschließend als Diagnosewissen ebenfalls in eine Datenbank übertragen, welche die Daten an die Werkstätten verteilt. Es handelt sich somit um einen geschlossenen Prozess, dessen Rückkopplung weitere Eigen-

schaften ausgebildet. Hierdurch entsteht für bisher unbekannte Reparaturprobleme, durch die Gesamtheit der KD-Mitarbeiter, ein automatischer iterativer Problemlösungsprozess. Einzelheiten des Verfahrens wurden bereits in [11] vorgestellt.

Die Ausgabe eines solchen Diagnosesystems könnte Beispielsweise wie in Bild 10 aussehen. Es werden keine sequenziellen Handlungsanweisungen ausgegeben, sondern eine Liste möglicher Reparaturmaßnahmen die jeweils mit einem Wahrscheinlichkeitswert versehen sind. Es bleibt folglich dem Anwender überlassen, welche Maßnahme er als erstes auswählt, wenngleich die Auswahl der ersten Maßnahme am wahrscheinlichsten und logischsten ist. Alternativ wäre auch die Kopplung an spezielle Komponentenprüfprogramme, sogenannte Prüfmodule, möglich. Die Auswahl kann dabei erhalten oder aber sequenzielles Vorgehen erzwungen werden.

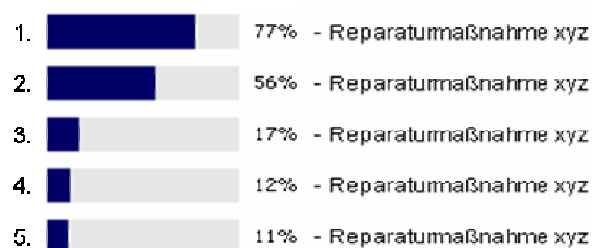


Bild 10: Beispielhafte Ausgabe des Diagnosesystems.

Die Ausführungen zeigen wie vielfältig Diagnosesysteme ausgelegt werden können. Um jedoch die Leistungsfähigkeit der dahinter stehenden Technologie bewerten zu können, spielt die Benutzerführung eher eine untergeordnete Rolle. Diese allerdings spiegelt sich stark im Kriterium Akzeptanz wieder.

Für die Evaluierung des vorgestellten Verfahrens wurde ein eigenes Softwaretool entwickelt. Dieses Tool ermöglicht die vollautomatische Evaluation mit Hilfe einer Menge an Reparaturfalldatensätzen. Die Voraussetzung hierfür sind jedoch technisch verwendbare Daten über die Teilekosten sowie die Ein- und Ausbaurkosten für eine Komponente.

Rep.Fall	Fehlersuchzeit	Fehltauschkosten	NTF
1	23 min	-	-
2	41 min	50,13 €	-
3	17 min	-	-
...	...	...	...
n	50 min	452,50 €	X
Durchschnitt	28 min	43,10 €	15 %
Qualitätsrate	26%	19%	85%
Leistungsfähigkeit		43%	

Tabelle 2: Beispielhafte Ermittlung der quantisierten Kriterien<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Originalwerte wurden verändert.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse einer beispielhaft nach Abschnitt 5 durchgeführten Evaluation dargestellt. Es geht daraus deutlich hervor, dass zuerst jeder Reparaturfall einzeln betrachtet und die Kriterien quantifiziert werden. Erst anschließend werden die Werte zu einem Durchschnittswert zusammengerechnet. Mit Hilfe der jeweiligen Abbildungsfunktion werden dann die einzelnen Qualitätsraten ermittelt und gewichtet nach (3) zusammengerechnet.

Die Möglichkeit der automatischen Evaluation hat sich in der Praxis als sehr hilfreich herausgestellt. Insbesondere bei Verfahren mit neuronalen Netzen gibt es eine große Anzahl an möglichen Architekturen sowie an verschiedensten Parametern. Erst durch den Automatismus konnte die Leistungsfähigkeit verschiedenster Kombinationen von Architekturen und Parametern im großen Umfang untersucht werden. Ohne eine automatisierte Evaluation wäre dies nur mit enormem Aufwand möglich gewesen. Das Verfahren einer dreistufigen entwicklungsbegleitenden Evaluierung war im vorliegenden Fall von entscheidender Bedeutung und hat die Qualität wie auch die Entwicklungszeit stark verbessert.

## **7. Zusammenfassung und Ausblick**

Der Beitrag hat gezeigt, dass die Einführung oder auch Veränderung eines Offboard-Diagnosesystems im Feld eine gründliche Untersuchung und Evaluierung erfordert. Offboard-Diagnoseverfahren sind keine Massenprodukte, sondern speziell entwickelte Einzellösungen. Aus diesem Grund wurde eine mehrstufige entwicklungsbegleitende Evaluierung vorgestellt, die es ermöglicht, bereits Konzepte hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Akzeptanz, Kosten zu evaluieren und somit bereits frühzeitig ungeeignete Verfahren auszusortieren. Erst dann wird die Entwicklung fortgesetzt und die Evaluierungsmethoden schrittweise erweitert. Dieses Vorgehen erspart einerseits Zeit und beschleunigt gleichzeitig laufende Entwicklungen. Auf der anderen Seite erhöht sich durch die Möglichkeit einer ständigen Evaluierung die Qualität der Systeme.

Damit ermöglicht dieses Verfahren erst die dringend notwendige Einführung neuer Diagnosesysteme und öffnet somit Wege für neue komplexere Fahrzeugarchitekturen.

## Literatur

- [1] Mohammad Abuosba: Fahrzeug-Diagnose mit System, Sonderdruck aus Wissensmanagement 8/30, 2004
- [2] Christian Hack, Georg Drenkhahn, Jochen Nickles: Vernetzte Funktionen beherrschen - Diagnoseanforderung zur Bewältigung der Komplexität vernetzter Fahrzeugsysteme, Automotive, Messen und Testen, 2006
- [3] Bernhard Rumpe, Jutta Schifers: Herausforderungen an die Diagnose - Integration der Diagnose in die Steuergeräteentwicklung, ZfAW. Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft, 2006, S. 65–69
- [4] Helmut Balzert: Lehrbuch der Software-Technik: Software-Management, Software-Qualitätssicherung, Unternehmensmodellierung, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin, 1998
- [5] R. Bahsoon, W. Emmerich: Evaluating Software Architectures: Development, Stability, and Evolution. In AICCSA, 2003
- [6] E. Wandeler, L. Thiele, M.H.G. Verhoef, P. Lieverse: System Architecture Evaluation Using Modular Performance Analysis – A Case Study, ISoLA, 2004
- [7] R. Kazman, G.D. Abowd, L.J. Bass, P. Clements: Scenario-Based Analysis of Software Architecture. IEEE Software, 1996, S. 47–55
- [8] R. Kazman, M.H. Klein, P. Clements: ATAM: Method for Architecture Evaluation, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2000
- [9] B. Florentz: Systemarchitekturevaluation: Integration unterschiedlicher Kriterien, Moderne Elektronik im Kraftfahrzeug, 2.1, Haus der Technik Fachbuch, 2006, S. 49-65
- [10] R. Oppermann, B. Murchner, H. Reiterer, M. Koch: Softwareergonomische Evaluation - Der Leifaden EVADIS II (2. Auflage) Berlin; New York: Walter de Gruyter, 1992, S. 10ff.
- [11] T. Müller, K. Lange, A. Breuer, O. Krieger, T. Form: Automatische erfahrungsbasierte Diagnose aus Felddaten mit neuronalen Netzen, Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden, 2007, ISBN 978-3-18-09200
- [12] O. Krieger, A. Breuer, T. Müller, T. Form, K. Lange: Wahrscheinlichkeitsbasierte Fahrzeugdiagnose auf Basis individuell generierter Prüfabläufe, Mechatronik 2007 - Innovative Produktentwicklung, 2007, ISBN 978-3-18-091971-3
- [13] L. Bass, P. Clements, R. Kazman: Software architecture in practice, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1998, ISBN 0-201-19930-0

## **Autoren**

Dipl. Ing. Tobias Müller, Institut für Regelungstechnik, TU Braunschweig

Dipl. Ing. Olaf Krieger, Volkswagen AG, Wolfsburg

Prof. Dr. Thomas Form, Volkswagen AG, Wolfsburg